

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ СЕТЕЙ KNET И KRNET

*А.В. Берёзина, В.Д. Брагин, Е.В. Першина, А.К. Рыбин*

---

Рассматриваются результаты создания сейсмической базы данных на основе материалов наблюдений сетей сейсмических станций KNET и KRNET. Представлено описание реляционной базы данных DATASCOPE CSS 3.0.

*Ключевые слова:* реляционная база данных; DATASCOPE CSS 3.0; волновые формы.

**Введение.** Тяньшанская горная система – одна из наиболее сейсмически активных регионов мира [1, 2]. Однако, несмотря на высокий уровень сейсмичности, крупные землетрясения здесь довольно редки. При этом сильные землетрясения концентрируются преимущественно в областях северной и южной границ Тянь-Шаня [3, 4].

Ранее сейсмологические наблюдения базировались на старых аналоговых сейсмостанциях. Ре-

зультаты наблюдений сохранялись в виде записей сейсмического процесса на фотобумаге.

К началу 90-х годов прошлого века на территории Северного Тянь-Шаня совместно с корпорацией IRIS (США) Научной станцией РАН была задействована современная цифровая телеметрическая сейсмологическая сеть KNET. Она состоит из 10 станций, укомплектованных широкополосными сейсмометрами типа Streckeisen (STS-2), 24-

разрядными дигитайзерами REF ТЕК-72, телеметрической системой на базе устройств широкополосной связи Freewave и 3-х радиотрансляторов. На данный момент времени KNET представляет собой одну из лучших сетей в мире и единственную сеть реального времени в Центральной Азии. Выход доброкачественных данных с сети составляет не менее 98 %. KNET позволяет выполнять автоматические непрерывные сейсмологические наблюдения и получать данные в реальном масштабе времени. Все ее станции расположены на скальных породах, и часть из них является мировым эталоном по наименьшему уровню шума. Потребителями сейсмологических данных с сети KNET в настоящее время являются Кыргызстан, Казахстан, Россия, США, Китай.

В 2011 г. Институтом сейсмологии НАН КР были начаты работы по замене аналоговых станций национальной сейсмологической сети современными цифровыми станциями типа CMG-3 (DM24 – дигитайзер) производства Guralp Systems Ltd. (Великобритания). На данный момент эта сеть в составе 10 сейсмостанций получила название KRNET. Часть станций этой сети позволяют передавать сейсмические данные в Центр данных ИС НАН КР в режиме реального времени.

Применение современных цифровых сейсмических станций привело к резкому увеличению потока зарегистрированных сейсмологических данных. Это обстоятельство потребовало осуществить переход на новые методы хранения цифровой сейсмологической информации, а именно: использование для этих целей специально созданных баз данных [5–9]. Для сейсмологических задач была выбрана реляционная база данных DATASCOPE CSS 3.0 [5] и в Центре данных Института сейсмологии НАН КР на основе материалов сетей сейсмических станций KNET и KRNET была создана база волновых форм в формате CSS 3.0. Реляционная база данных DATASCOPE CSS 3.0 является удобным и мощным средством для хранения сейсмических записей и информации о сейсмических событиях. Программы, входящие в состав системы управления этой базой данных, позволяют проводить идентификацию различных фаз волновых форм, определять основные параметры землетрясений и т. д.

**Описание базы данных.** Реляционная база данных состоит из набора таблиц, которые называются отношениями. Каждая таблица по сути – это матрица, в которой строки называются записями (но это не записи сейсмических событий), а столбцы – полями. В каждой позиции этой матрицы хранится какое-либо значение (или числовое, или текстовое). В отличие от других широко распространенных баз

данных (например, ORACLE или SYBASE) в базе данных таблицы являются не бинарными, а текстовыми файлами. Это удобно тем, что позволяет просматривать (и даже модифицировать) данные в базе с помощью любого текстового редактора. Другой особенностью этой базы данных является то, что сами записи сейсмических волн хранятся в бинарных файлах, а не в таблицах самой базы. В таблицах же базы данных хранятся только ссылки на файлы с записями сейсмических событий.

Специально для сейсмических данных Центр сейсмических исследований (CSS), принадлежащий Агентству оборонных исследований (DARPA), разработал схему базы данных [5]. Эта схема развивалась и совершенствовалась в течение более десяти лет, и в настоящее время является основной рабочей системой обработки сейсмических данных, используемых в DARPA в целях глобального мониторинга подземных ядерных испытаний. Схема базы данных DATASCOPE является производной от схемы CSS версии 3.0.

Рассмотрим схему базы данных DATASCOPE CSS 3.0 более подробно.

Таблицы, входящие в базу, можно разделить на два основных типа: таблицы, связанные с сейсмическими записями (рисунок 1), и таблицы, связанные с параметрами сейсмических событий (рисунок 2).

В таблице wfdisc хранятся ссылки на файлы, содержащие сейсмические записи для каждого сегмента данных каждого канала каждой станции. В ней также содержится основная информация, необходимая для чтения сейсмических записей (время начала записи, число отсчетов в секунду, полное число отсчетов в записи, усиление системы, формат данных). Таблица site содержит данные о станции (имя станции, начало и конец ее функционирования, широта, долгота, высота над уровнем моря). В таблице sitechan содержится информация о характеристиках каналов станции (дата начала и окончания функционирования канала станции, глубина расположения, географическая ориентация канала (NS, EW, Z)).

В таблицах sensor и instrument содержится информация о калибровках и об амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) прибора. В таблице instrument находятся ссылки на внешние файлы, содержащие АЧХ прибора, которая может быть представлена или в виде нулей и полюсов, или в виде коэффициентов цифровых фильтров. И, наконец, небольшие таблицы affiliation и network содержат указатели, позволяющие объединять различные станции в связанные группы (сети). Проще говоря, в таблице affiliation для каждой станции

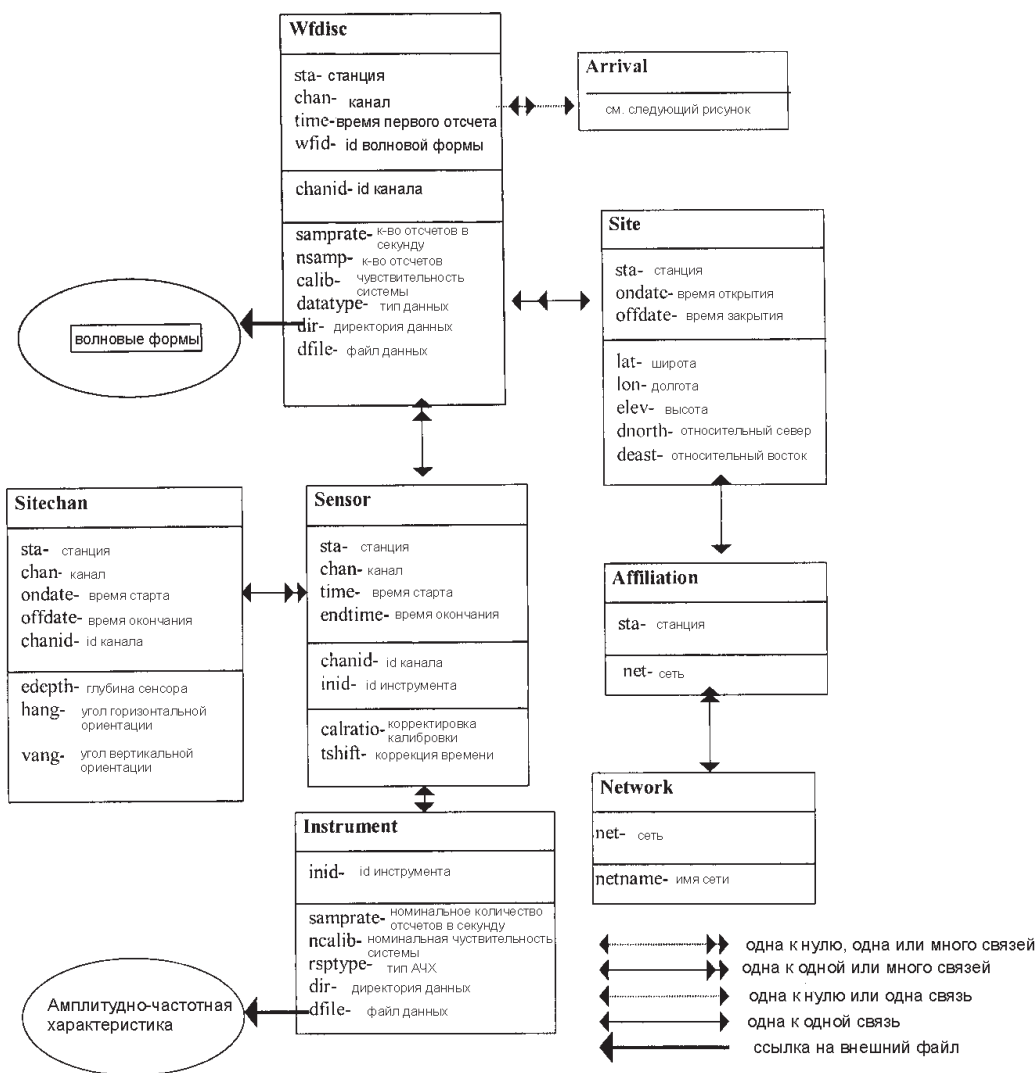


Рисунок 1 – Схема базы данных. Таблицы, связанные с записями волновых форм

имеются указатели на принадлежность её к той или иной сети, а в таблице network приводится список всех имеющихся сетей.

В таблицах, связанных с параметрами сейсмических событий (рисунок 2), хранится информация, полученная в ходе обработки сейсмических записей. В таблице arrival хранятся найденные на сейсмической записи времена вступлений различных волн, каждому из которых присвоен уникальный для данной базы данных номер (arid).

Каждое вступление описывается следующими параметрами: станция, канал, время прихода, фаза (тип волны), неопределенность в оценке времени прихода, амплитуда вступления, период вступления. Вступления от различных станций ассоции-

руются с известными событиями, хранящимися в таблице origin. Информация об этих ассоциациях хранится в таблице assoc и впоследствии используется специальной программой определения гипоцентров. Гипоцентрам также присваивается уникальный ключ (номер) (orid), и вся сопутствующая гипоцентрам информация (идентификатор события, время в очаге, координаты очага, глубина, магнитуда по объемным волнам, магнитуда по поверхностным волнам, алгоритм, использованный при вычислении параметров очага) хранится в таблице origin. Таким образом, таблица origin может пополняться двумя способами: переносом данных из различных, уже существующих каталогов в базу данных DATASCOPE и в результате обработки

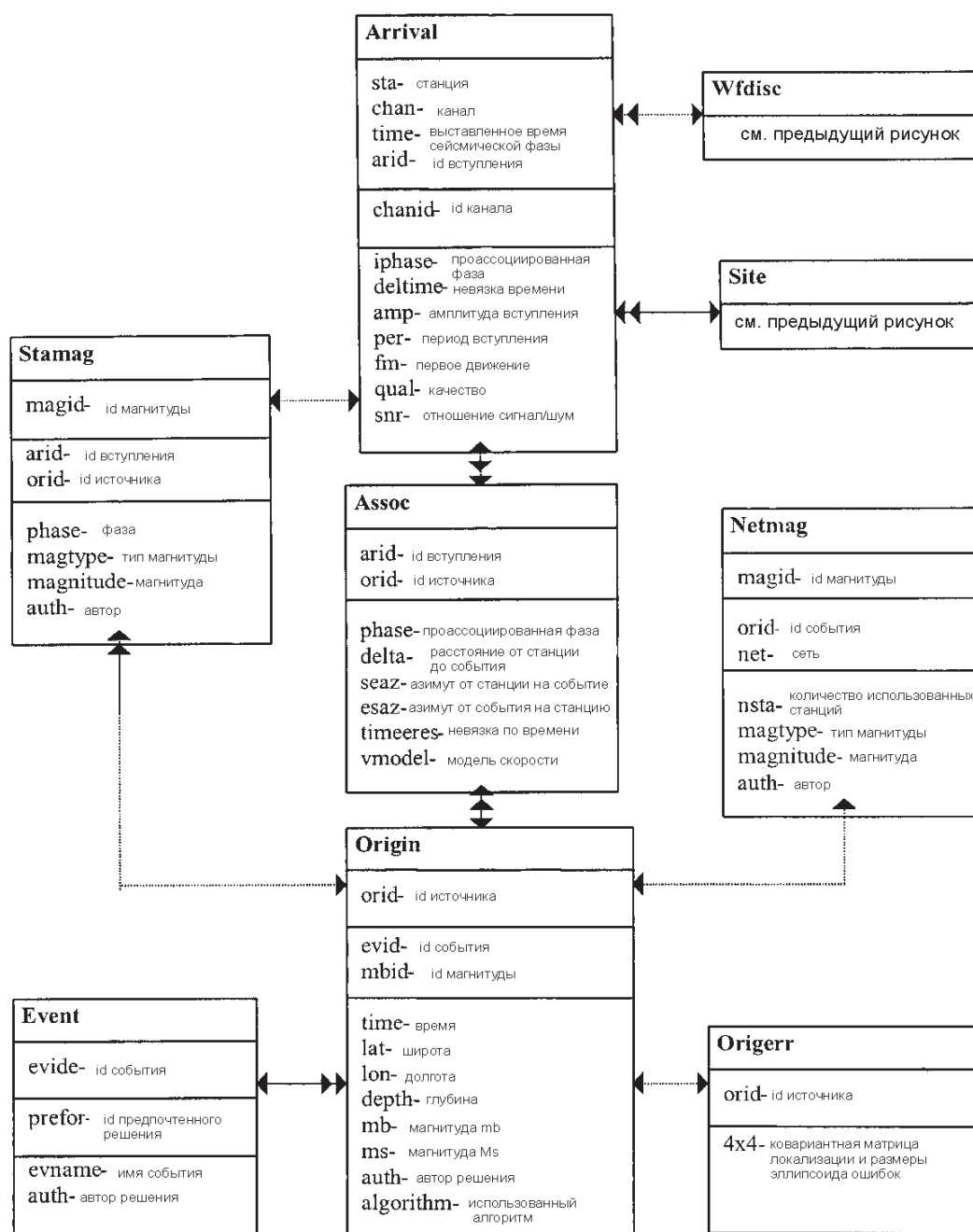


Рисунок 2 – Схема базы данных. Таблицы, связанные с сейсмическими событиями

данных, хранящихся в базе. Для одного события может быть получено несколько вариантов определений, и все они хранятся в таблице origin. Гипоцентрам, соответствующим одному и тому же событию, присваивается уникальный ключ (evid), и эти события хранятся в таблице event. В ней также приводится ссылка на наиболее вероятный гипо-

центр. Наконец, для различных событий на различных станциях может быть подсчитана магнитуда. Значения магнитуд хранятся в таблице stamag. По сети станций может быть подсчитано среднее значение магнитуды, оно хранится в таблице netmag [10].

Таким образом, база данных DATASCOPE является удобным и мощным средством для

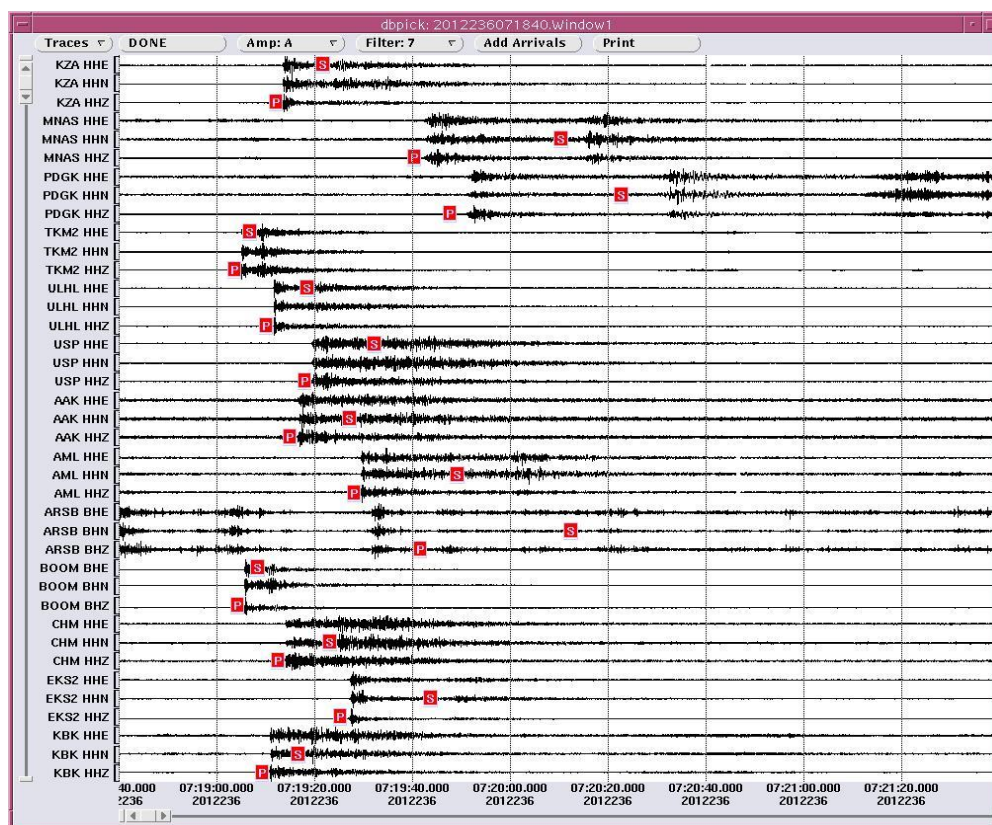


Рисунок 3 – Волновые формы события 2012236071840

хранения сейсмических записей и информации о сейсмических событиях. Программы, обслуживающие эту базу данных позволяют находить вступления различных волн, определять параметры этих вступлений. Средства базы данных позволяют ассоциировать найденные вступления с уже известными событиями (например, из каталогов), определять гипоцентры и параметры очага событий, используя различные годографы.

В качестве примера рассмотрим сейсмическое событие 2012236071840 и соответствующие ему материалы базы данных, включая визуализацию волновых форм (рисунок 3).

Исходные файлы, которые используются для создания базы данных:

**Файл – 2012236071840.wfdisk (ГТГГДДЧЧ ММСС.wfdisk)**, т. е. название файла до расширения (в нашем случае "2012236071840") формируется исходя из даты и времени, где день указан по Юлианскому календарю.

Пример записи данного файла:

```
AAK VNE 1345706320.00000 -1 -1 2012236
1345706499.97500 7200 40.0000000 1.266669 0.000000
-V sd - . 2012236071840.w 0 -1 1346043908.20471.
```

Где ААК – код сейсмической станции (в данном случае, станция Ала-Арча);

VNE – наименование составляющей сейсмического сенсора (в данном случае, горизонтальная составляющая E-W);

1345706320.00000 – начало записи (время эпохальное);

2012236 – юлианский день начала записи;

1345706499.97500 окончание записи (время эпохальное);

7200 – количество отсчетов;

40.0000000 – частота дискретизации (в данном случае – 40 Гц);

1.266669 – увеличение;

- V – тип записи (V – скорость, D – смещение, A – ускорение);

sd – формат записи (в данном случае "miniseed");

. – текущая директория, в которой хранится волновая форма;

2012236071840.w – имя файла, в котором хранится волновая форма;

1346043908.20471 – время создания файла.

**Файл – 2012236071840.w** содержит волновые формы в двоичном коде.

После обработки сейсмического события формируются следующие файлы:

**Файл – 2012236071840.arrival** – сейсмический бюллетень, содержащий результаты первичной обработки сейсмических данных, в формате CSS3.0.

Далее, файл с расширением "arrival" переводится в формат программы Hypoellipse для локализации эпицентров, и формируется

**файл – 2012236071840.ephase.**

Пример записи файла 2012236071840.ephase:

TKM2IPD 12 823 719 4.8 8.1IS 0.03380.4 0.19160.31

где TKM2 – код станции (в данном случае станция Токмак);

IP – вступления P-волны (если "I" – вступления чёткое, "E" – нечёткое);

D – знак вступления P-волны (если "U" – вверх (+), "D" – вниз (-));

12 – год (в данном случае 2012 г.);

8 – месяц (август);

23 – число;

7 – час по UTC (Международное время (Гринвич));

19 – минуты;

4.8 – секунды вступления P-волны;

8.1 – секунды вступления S-волны;

IS – чёткость вступления S-волны;

0.0338 – амплитуда P-волны в нанометрах;

0.4 – период P-волны в секундах;

0.1916 – амплитуда S-волны в нанометрах;

0.31 – период S-волны в секундах.

Затем, в результате работы программы "Hypoellipse" формируется окончательный бюллетень землетрясения (2012236071840.out), содержащий: сводный список параметров сейсмических данных, полученных с разных станций для определённого сейсмического события, произошедших как на контролируемой сейсмологической сетью территории, так и на территориях других регионов (как правило, включает в себя: код станции, времена вступлений сейсмических фаз, амплитуды и периоды волн, магнитуды и ряд других параметров).

Бюллетени землетрясений передаются в различные Международные центры данных и используются для расчёта параметров землетрясений, произошедших в других регионах мира.

Все сейсмические бюллетени специальным образом формируются, анализируются и, в результате, создаётся каталог землетрясений исследуемой территории (пример каталога приведен в таблице 1).

Каталог землетрясений включает в себя точные параметры всех зарегистрированных сейсмических событий на исследуемой территории:

- дата сейсмического события;
- точное время сейсмического события;
- координаты сейсмического события (широта, долгота, глубина);
- класс и магнитуда сейсмического события.

Таблица 1 – Пример каталога землетрясений Кыргызстана за 2013 г.

Year	Mon.	Day	Hour	Min	Sec	latN	longE	H	K	Mpv
2013	1	26	2	9	41,2	42,35	76,08	11	4,2	1,6
2013	1	26	3	16	20,3	42,07	75,95	16	5,7	2,3
2013	1	27	2	55	46,9	42,17	76,38	22	3,9	1,4
2013	1	27	6	55	9,6	42,58	75,25	21	3,8	1,3
2013	1	28	0	13	44,4	42,15	73,68	17	5,1	1,8
2013	1	28	5	2	10,1	42,32	75,87	23	3,3	1,3
2013	1	28	14	42	10,1	42,03	73,90	20	4,7	1,6
2013	1	28	19	20	40,7	42,05	73,95	4	4,4	1,5
2013	1	28	23	9	15,3	42,58	74,52	18	3,6	1,2
2013	1	29	9	26	56,4	42,38	76,22		3,2	1,5
2013	1	29	19	5	57,5	42,63	74,70	22	3,1	1,3
2013	1	29	20	4	42,3	42,00	75,55	30	4,0	1,5
2013	1	30	1	15	20,4	42,05	76,23	11	5,4	2,1
2013	1	31	5	53	56,2	43,25	75,05	11	4,7	1,6
2013	1	31	13	21	18,1	42,10	76,22	19	4,7	1,6
2013	2	1	8	41	51,5	42,77	76,23	10	3,9	1,3

В процессе анализа и дальнейшей обработки волновых форм, помимо каталогов землетрясений, создаются также каталоги промышленных взрывов, произведённых на территории Кыргызстана и Казахстана и каталоги микротолчков для сейсмостанций KNET и KRNET.

**Заключение.** Описанная в статье база данных в настоящее время является своеобразным мировым стандартом для хранения и управления огромными объемами сейсмологических данных. Она позволяет не только использовать сейсмологические данные локальных и региональных сейсмических сетей, но и подключаться к мировым центрам сейсмологических данных с целью обмена данными или получения сейсмологических данных в реальном времени с сейсмических станций глобальных сетей [5].

Помимо решения классических задач сейсмологии, данная система сейсмических станций и соответственно сопровождающая их база данных позволяют решать множество прикладных задач, таких как исследование глубинной структуры региона или конкретных локальных областей с использованием методов сейсмотомографии, изучение взаимодействия сейсмических полей с другими геофизическими полями и т. д.

Следует отметить, что база данных DATA-SCOPE разработана только для платформы UNIX, что можно считать определенным ее недостатком.

Представленные в статье работы по созданию сейсмической базы данных выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования

и науки Российской Федерации (государственный контракт № 11.519.11.6049).

### *Литература*

1. Буланже Ю.Д. Современные движения земной коры на геодинамических полигонах / Ю.Д. Буланже. М.: Радио и связь, 1973. 285 с.
2. Буланже Ю.Д. Комплексные геодинамические полигоны: методика и результаты исследований / Ю.Д. Буланже, Д.А. Лиленберг. М.: Наука, 1984. 143 с.
3. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 214 с.
4. Малышев Ю.Н. Техногенная геодинамика. Книга 1. / Ю.Н. Малышев, О.И. Сагалович, А.В. Лисуренко. М.: Недра, 1996. 430 с.
5. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual. J. Anderson, W.E. Farrell et al. // Technical Report C90-01, Arlington, 1990.
6. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных. СПб.: Питер, 2003. 864 с.
7. Харрингтон Джен Л. Проектирование реляционных баз данных / Л. Джен Харрингтон. Лори, 2006. 240 с.
8. Ульман Д. Основы реляционных баз данных / Д. Ульман, Д. Уидом. Лори, 2003. 384 с.
9. Атре Ш. Структурный подход к организации базы данных / Ш. Атре. М.: Финансы и статистика, 1983. 317 с.
10. Некоторые полезные команды UNIX, а также программы работы с сейсмическими данными: справочное руководство. Алматы, 2005.